

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕСОИЗМЕРИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ УПРУГОГО КОЛЬЦА И ВСТРОЕННОГО В НЕГО СТРУННОГО ДАТЧИКА

Рассмотрены оригинальные конструкции весоизмерительных устройств на основе кольцевого упругого элемента переменного сечения и вторичного струнного датчика. Проведены исследования статических и динамических характеристик разработанных устройств. Показано, что предлагаемые устройства имеют высокую чувствительность и точность измерения.

Вторичные датчики, применяемые в системах весоизмерения с первичными упругими элементами (УЭ), характеризуются большим разнообразием принципов преобразования перемещений УЭ. При выборе датчика необходимо минимизировать возможные погрешности и инерционность измерения, а также максимально упростить устройство, сделать его более надежным и чувствительным к изменению нагрузки.

Недостатком большинства вторичных датчиков (индуктивных, емкостных, тензорезисторных), применяемых в современных весоизмерителях, является аналоговый принцип действия, в то время как электрические преобразователи с большей точностью фиксируют частотные изменения [1]. Для устранения этого недостатка в конструкцию устройств встраивают преобразователи – блоки, переводящие сигнал из аналогового в частотный, что вносит погрешность в выходную величину. Все эти устройства имеют очень слабый выходной сигнал (порядка мВ), и для вывода его на необходимый уровень применяются усилители. Наличие в цепи преобразования сигналов большого количества дополнительных звеньев существенно снижает точность измерения.

Для силоизмерительных устройств целесообразно применение струнного датчика (СД). Этот датчик обладает высокой точностью и малой инерционностью. Погрешность СД от гистерезиса не превышает 5 Н на 15 кН приложенного веса. Главным его недостатком является повышенная чувствительность к внешним возмущениям. Дело в том, что струнный датчик преобразует силовое воздействие в колебание струны, и высокая точность будет обеспечиваться только в том случае, когда будут отсутствовать любые внешние источники колебаний, которые могут привести к существенным погрешностям измерения.

1 Исследование работоспособности весоизмерительных устройств

Нами были спроектированы принципиально новые конструкции весоизмерительных устройств (ВУ) на основе упругого кольца и струнного датчика, встроенного в упругое кольцо.

Рассмотрим принцип действия этих устройств. На рис. 1 изображена схема ВУ, предназначенного для определения массы грузов в диапазоне от 0 до 500 кг. Упругое кольцо 1 воспринимает приложенную нагрузку через стандартные рым-болт 6 и гак 7, крепящиеся к нему с помощью башмаков 3. Под нагрузкой кольцо деформируется следующим образом: по вертикальной оси растягивается, а по горизонтальной – сжимается. Особенность устройства

в том, что струнный датчик 2, работающий на сжатие, воспринимает деформации кольца по вертикальной оси. Это возможно за счет применения специальных уголков 4, 5, преобразующих растягивающее напряжение на кольце в сжимающее на струнном датчике. Подобная конструкция позволяет получить минимальные габаритные размеры устройства, не усложняя его конструкцию.

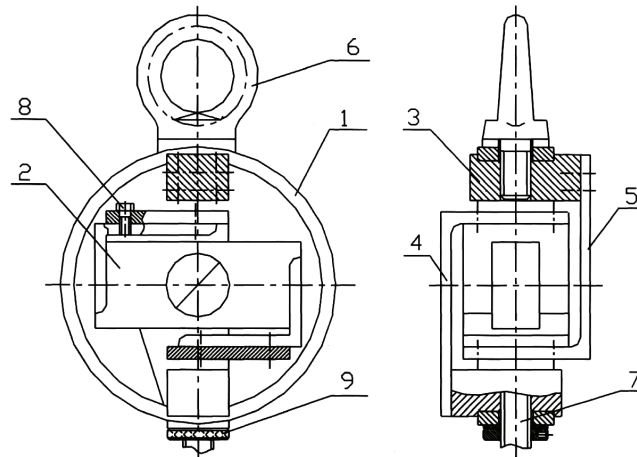


Рис. 1 Эскиз весоизмерительного устройства с упругим кольцом и струнным датчиком (конструкция 1)

Крепление всех элементов между собой производится винтами 8. При необходимости (для устранения зазоров в местах контакта уголков с башмаками) в струнном датчике могут быть использованы металлические прокладки. Это значительно упрощает сборку и предварительную настройку весоизмерителя и позволяет снизить себестоимость сборочных элементов, назначив экономически приемлемые допуски.

Конструкция ВУ, изображенного на рис. 2, имеет две отличительные особенности:

- струнный датчик 1 воспринимает сжимающие деформации кольца 2 через стоящие враспор башмаки 3;
- башмаки не имеют жесткого крепления и лишь фиксируются винтами 4.

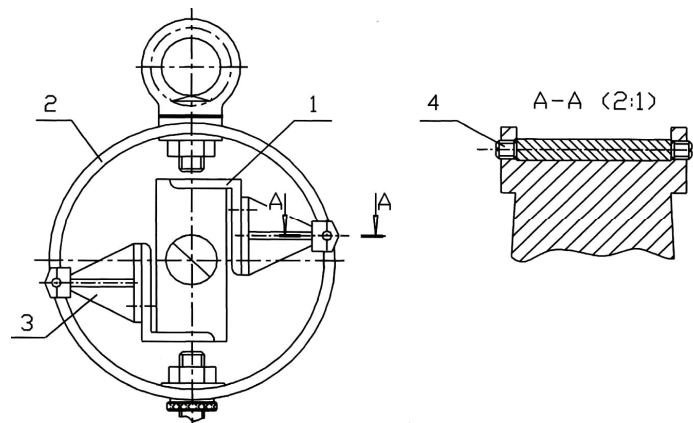


Рис. 2 Схема весоизмерительного устройства с упругим кольцом и струнным датчиком (конструкция 2)

Данная схема позволяет переставлять датчик в кольцо по различным осям, изменяя чувствительность устройства при постоянной нагрузке, делая его более универсальным, в отличие от первой конструкции, и дает возможность измерять приложенную силу в более широких диапазонах с одинаковой точностью.

Универсальность второй конструкции несколько снижает точность устройства за счет меньшей жесткости контакта, определяемого винтовым соединением между кольцом и башмаками.

Струнный датчик, применяемый в весоизмерителе, изготовлен из прецизионного сплава 44НХТЮ. Метрологические характеристики датчика представлены в табл. 1.

Таблица 1

Метрологические характеристики струнного датчика

1.	Максимальная нагрузка P_n , Н	150
2.	Максимальный гистерезис в диапазоне 0– P_n , Н	не более 0,5
3.	Выходной сигнал импульсной формы положительного полезного напряжения, не менее, В	3,5
4.	Время готовности после включения, мин	3
5.	Напряжение питания, В	+(5±0,2)
6.	Масса, не более, кг	1,3

Струнный датчик обладает минимальными упругими несовершенствами [2]. Материал УЭ имеет: прямое упругое последствие 0,08 %, обратное упругое последствие 0,02 %, гистерезис 0,07 %.

Конструкция ВУ имеет множество элементов, снижающих его точность и увеличивающих погрешности. Для оценки погрешности измерения весоизмеритель нагружали до 500 Н и с помощью частотомера регистрировали частоту колебаний струны датчика.

На рис. 3 для конструкции 1 изображена зависимость периода колебания струны датчика от растягивающей силы.

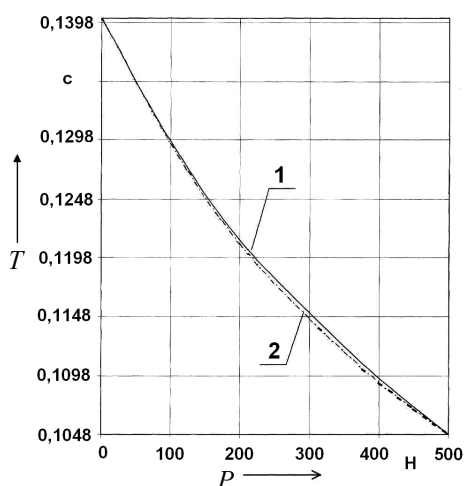


Рис. 3 Зависимость периода колебания струны датчика от величины приложенной силы: 1 – при нагружении; 2 – при разгрузке

Наибольшее влияние на точностные характеристики весоизмерителя оказывают стыки, присутствующие в его конструкции. С увеличением момента затяжки от 0,02 Н · м относительная величина гистерезиса возрастает от $\approx 1,35$ до 2,0 %.

Кроме того, выявлено влияние вида соединения стыков на точность устройства. Применение сварного соединения приводит к уменьшению возможных взаимосдвигов и процессов демпфирования в стыках между уголками и телом струнного датчика, струнный датчик с приваренными уголками работает как цельная конструкция.

При проведении исследований ВУ особое внимание уделялось зоне минимальных нагрузок (от 0 до 500 Н), чтобы определить нижний предел чувствительности прибора. Как уже отмечалось, струнный датчик обладает огромной чувствительностью (возможность регистрации приращения веса около 0,5 Н), поэтому чувствительность весоизмерителя будет целиком определяться жесткостью упругого кольца. Результаты измерений приведены в табл. 2.

Таблица 2

ВУ на основе упругого кольца и струнного датчика (конструкция 1)

Параметры	Значение
1. Предел измерения, Н	13–5000
2. Минимальное регистрируемое приращение, Н	10–15
3. Максимально допустимая перегрузка, %	200
4. Максимальный гистерезис во всем диапазоне нагружения, не более, Н	50
5. Время затухания переходного процесса, с	1,2–1,6
4. Геометрические параметры упругого элемента, мм: средний диаметр, ширина, толщина	137 40 7
5. Питание	Автономное
6. Напряжение питания, В	$+(5 \pm 0,2)$
7. Выходной сигнал импульса полезного напряжения, не менее, В	3,5
8. Время готовности после включения, мин	3
9. Масса, не более, кг	5
10. Рабочий диапазон температур, °С	–30...+50

Полученные погрешности являются допустимыми, однако при хранении, транспортировании, использовании весоизмерителя правила его эксплуатации могут быть серьезно нарушены, что повлечет за собой появление уже недопустимых отклонений. Основную опасность могут представлять случаи нагружения устройства сверх положенного веса. Необходима проверка работоспособности струнного датчика при таком воздействии [3]. Устройство, даже после возможной перегрузки, должно полностью сохранять все настройки.

Для определения работоспособности ВУ при подобном нарушении правил эксплуатации разработанная конструкция нагружалась сверх допустимого веса. Результаты нагружения представлены на рис. 4 в виде двух зависимостей: 1 – изменение периода колебаний струны от приложенной силы; 2 – изменение деформации упругого кольца от приложенной силы. Зона I – предел измерения

весомизмерителя. Некоторую нелинейность полученных зависимостей можно объяснить упругими несовершенствами материала упругого кольца.

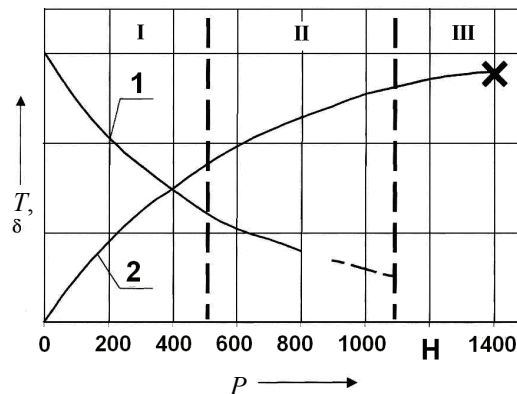


Рис. 4 Влияние нагрузки ВУ на период колебаний (T) и деформацию кольца

Увеличение нагрузки (зона II) приводит к возрастанию погрешности измерения и снижению точности устройства. Превышение нагрузки на 70–80 % от верхнего предела измерения вызывает неустойчивую работу весоизмерителя, появляется вероятность сбоя, а при перегрузке более чем в $\approx 2,2$ раза струнный датчик перестает работать, т.к. собственная частота струны начинает хаотично изменяться, и процессор просто не в состоянии ее обработать. Тем не менее, такие перегрузки не ведут к поломке устройства. После снятия нагрузки и некоторого времени релаксации напряжений (порядка 15–25 с) весоизмеритель возвращается в свое первоначальное состояние без каких-либо отклонений.

Дальнейшее увеличение приложенной силы (зона III) ведет к значительному росту величины гистерезиса и упругого последствия, а превышение в 2,8 раза может вывести струнный датчик из строя. Расчеты показывают, что при трехкратной перегрузке (15000 Н) максимальное напряжение в кольце составляет ~ 54 МПа, а деформация $\sim 2,8$ мм.

При перегрузении ВУ в сильной мере проявляются точностные погрешности устройства. Значение гистерезиса достигает 9,4 %; смещение ноля функции достигает 0,05 мм. Эти погрешности имеют такую же природу, как и рассмотренные ранее, только в данном случае из-за критического увеличения приложенной силы величина их резко возрастает.

В конструкции 2 отсутствуют стыки, работающие на растяжение и на сдвиг, что несколько снижает данную составляющую погрешности измерения. Упругое кольцо оказывается более чувствительным и одновременно обладает большей инерционностью. Особенность исследования этой конструкции состояла в необходимости определения осей деформации, по которым должен устанавливаться струнный датчик, чтобы изменить пределы измерения ВУ, а также зоны нулевой деформации (рис. 5). Исследования проводились с учетом величины нормальной деформации упругого кольца (0,5–0,6 мм), необходимой для устойчивой работы струнного датчика и максимального использования его возможностей.

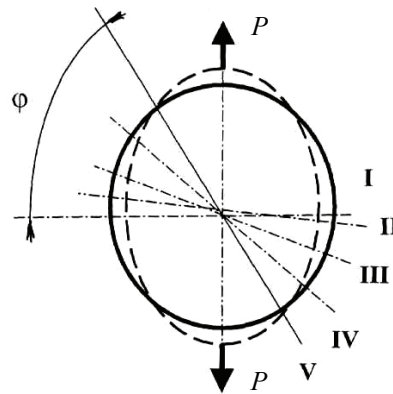


Рис. 5 Установочные оси в универсальном весоизмерителе

Основные оси, установка по которым струнного датчика изменяет характеристики устройства в целом:

I – горизонтальная ось весоизмерителя ($\varphi = 0$ град.). Необходимая деформация упругого кольца исследуемого ВУ достигается при воздействии растягивающей силы 3000 Н;

II – $\varphi = 5\text{--}7$ град., воздействующая сила $P = 5000$ Н;

III – $\varphi = 19\text{--}22$ град., воздействующая сила $P = 10\,000$ Н;

IV – $\varphi = 43\text{--}47$ град., воздействующая сила $P = 15\,000$ Н;

V – ось нулевой деформации ($\varphi = 52\text{--}53$ град.).

Основные характеристики универсального весоизмерительного устройства приведены в табл. 3.

Таблица 3

Характеристики универсального весоизмерителя

Параметры	Значения по осям установки			
	I	II	III	IV
Предел измерения, Н	10–3000	10–5000	50–10000	250–15000
Минимальное регистрируемое приращение, Н	9–10	10–12	50–60	230–270
Максимальный гистерезис, Н	35	52	74	147
Время затухания переходного процесса, с	5–6	4–5	1–2	1

Возможность переустановки струнного датчика, несомненно, увеличивает область применения устройства, однако необходимо учесть, что его универсальность негативно скажется на чувствительности и точностных характеристиках.

2 Определение времени затухания переходного процесса системы

Время затухания переходного процесса – величина, позволяющая охарактеризовать быстродействие весоизмерительного устройства. Инерционность весоизмерителя является одним из основных показателей качества, поэтому при проектировании конструкций устройств были проведены исследования зависимости времени затухания переходного процесса от величины входного воздействия.

Исследования проводились для двух режимов нагружения: 1 – плавное (в интервале 3–5 с) увеличение приложенной силы; 2 – ударное воздействие с постдействием.

Методика исследования заключалась в том, что собранное ВУ нагружали растягивающей силой величиной 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 Н. Выходным параметром при этом измерении служит величина деформации упругого кольца σ (рис. 6).

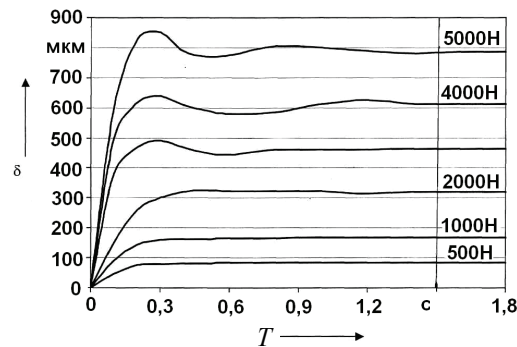


Рис. 6 Время затухания переходного процесса системы ВУ при различном силовом воздействии

При ударном силовом воздействии время успокоения и амплитуда колебания переходного процесса резко возрастают. На рис. 7 показано время затухания переходного процесса при статических и ударных (заштриховано) нагрузках.

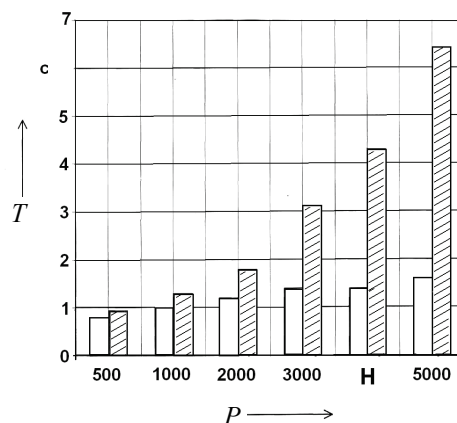


Рис. 7 Время затухания переходного процесса при плавном нагружении и ударных нагрузках

Вторая конструкция весоизмерителя представляет собой более инерционную систему за счет меньшей жесткости упругого кольца. Этот универсальный весоизмеритель способен работать в различных диапазонах сил, причем чем ниже верхний порог силы и уже диапазон измерения, тем больше времени требуется системе, чтобы амплитуда затухающих колебаний стала меньше допустимой погрешности. На рис. 8 показано изменение времени затухания универсального ВУ в зависимости от угла расположения струнного датчика.

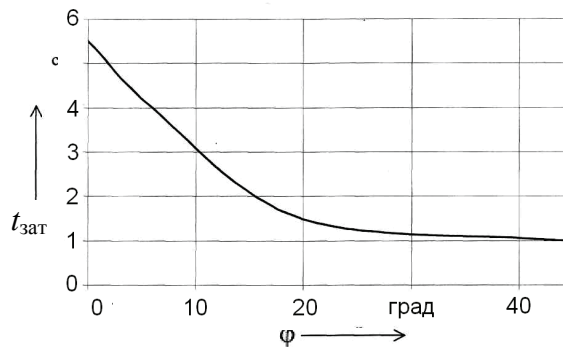


Рис. 8 Зависимость времени затухания переходного процесса универсального ВУ от угла установки СД

Выводы

Проведенные исследования разработанных конструкций весоизмерительных устройств на основе кольцевого упругого элемента и вторичного струнного датчика подтвердили их работоспособность в широком диапазоне нагрузок. Показаны высокая чувствительность и точность измерений. Вместе с тем показана негативная зависимость устройств от внешних возмущающих колебаний и относительно высокая инерционность, например, в сравнении со вторичным фотодатчиком.

Список литературы

1. **Антонец, И. В.** Весоизмерительные устройства с кольцевым упругим элементом и вторичным фотодатчиком / И. В. Антонец, В. П. Табаков, Д. Э. Финогенов // Сборка в машиностроении, приборостроении – 2006. – № 12. – С. 21–25.
2. **Тихонов, А. И.** Упругие элементы датчиков механических величин : учебное пособие / А. И. Тихонов, В. А. Тихоненков, Е. А. Мокров. – Ульяновск : Изд-во Ульяновского гос. техн. ун-та, 1998. – 120 с.
3. **Антонец, И. В.** Определение параметров упругого кольца весоизмерителя для автоматического дозатора / И. В. Антонец, Н. В. Еремин // Вестник Ульяновского гос. техн. ун-та. – 1999. – № 3. – С. 17–20.